

© 1985 ISIJ

# 神戸第2高炉(3次)の吹き止め操業及びN<sub>2</sub>冷却保存

技術報告

西田 功\*・田中 孝三\*<sup>2</sup>・上原 輝久\*<sup>2</sup>矢場田 武\*<sup>2</sup>・高野 成\*<sup>2</sup>

## Blowing Out Practice of Kobe No. 2 Blast Furnace for the Purpose of Reoperation

Tsutomu NISHIDA, Kozo TANAKA, Teruhisa UEHARA,  
Takeshi YABATA and Sei TAKANO

### Synopsis :

No. 2 blast furnace in Kobe Works was blown in on February 4, 1981 and because of the economic conditions it was blown out on April 22, 1983. Since its working period was very short (about 2.2 years), it was banked with the expectation of blowing in after several years.

The methods employed were :

- (1) to lower the stock line down to just above the level of the SiC brick lining (lower shaft) with the burden being replaced by coke,
- (2) to cool the furnace by N<sub>2</sub> gas,
- (3) to preserve the furnace brick under N<sub>2</sub> atmosphere.

Two samples of SiC brick at lower shaft part were collected just after and at 8 months after blowing out, and then they were investigated. It was found that there was no impairment in the SiC brick during this 8-month period.

Hot stoves were cooled by the natural cooling method with keeping airtight and their cooling periods were about 3 months. After cooling them, the observations inside them were done and it was confirmed that the damage of the brick was very little, so the reoperation of them would be of no trouble.

## 1. 緒 言

日本における従来の高炉改修は、中間補修を施すことなく炉の寿命まで使用し鉄皮、耐火物を更新することが通例であつた。しかしながら、第一次、第二次オイルショック以降の粗鋼生産量の低迷により、設備能力以下での高炉生産体制を強いられることになり、このような経済情勢下では、中間補修等による炉命の延長、生産要求に応じた減産、休止技術が重要な課題となつてきている。

神戸製鉄所では、1983年に第一、第二高炉の二基稼動から、第三高炉一基体制へと移行した。これは減産により、第三高炉一基で必要生産量に対応できること、更に同高炉は改修により微粉炭吹き込み設備や炉頂圧回収発電設備等を設置しており、銑鉄コスト低減が期待できるからである。

一方、休止した第2高炉は、改修後の稼動期間が約2

年2カ月と非常に短いため、吹き止めに際しては、再稼動を前提とした吹き止めを行い、その後、N<sub>2</sub>ガスにより炉内を冷却し、引き続きN<sub>2</sub>雰囲気中で保存中である。

本稿では、一時休止した神戸第2高炉の吹き止め、並びに冷却保存の実績について報告する。

## 2. 冷却保存方法の検討

### 2.1 高 炉

再稼動を前提とした高炉の一般的な休止方法として、欧米でよく実施されているバンキングがある<sup>1)</sup>。これは高炉を消し壺にみたて、内容物を密封して空気侵入によるコークスの燃焼を防ぎ、保存する方法である。バンキング時の内容物は火入れ時とほぼ同じ構成である。すなわち、炉下部にコークス、炉上部にはコークスと少量の鉱石が残されており、再火入れ時には内容物を掻き出さずに、そのまま火入れされる。この場合、再火入れ立ち上がり時に多大の労力を必要とすること、内容物を掻き

昭和58年10月本会講演大会にて発表 昭和59年6月4日受付 (Received June 4, 1984)

\* (株)神戸製鋼所神戸製鉄所 (現:関西熱化学(株)) (Kobe Works, Kobe Steel, Ltd., Now The Kansai Coke and Chemicals Co., Ltd.)

\*<sup>2</sup> (株)神戸製鋼所神戸製鉄所 (Kobe Works, Kobe Steel, Ltd., Nadahamagashimachi Nada-ku Kobe 657)

Table 1. Outline of Kobe No. 2 BF.

Blowing in	4, Feb., 1981
Blowing down	22, April, 1983
Inner volume	1618 m <sup>3</sup>
Hearth diameter	9.1 m
Top pressure	0.3 kg/cm <sup>2</sup>
No. of tap hole	2
No. of cinder notch	1
No. of tuyeres	20
Furnace cooling	
Shaft & belly	Cooling plates
Bosh & hearth	Spray cooling
Hearth bottom	Water cooling
Top charging equipment	Bell-less top

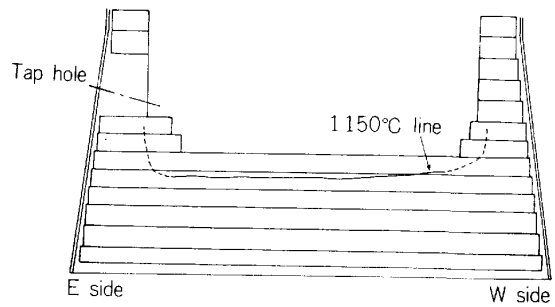
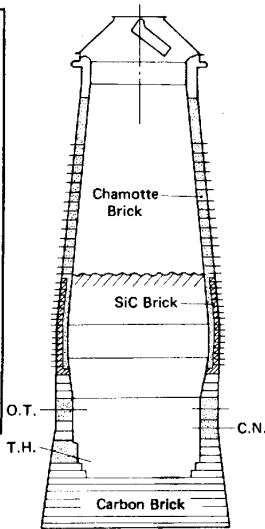


Fig. 2. Estimated isothermal at the hearth No. 2 BF. (April, 1983)

出さないため炉内の補修ができないこと、更に長期間保存時には耐火物の変質<sup>2)3)</sup>が懸念されるといった問題がある。神戸第2高炉の吹き止めでは、これらの問題を解決し長期間休止状態に置いた後、最少限の改修工事を実施し再使用することを前提とした。

Table 1 に神戸第2高炉の概要を示す。第2高炉は、1981年2月4日に第3次火入れをした常圧ベルレス高炉である。

Fig. 1 に高炉休止に関する基本的考え方を示す。

(1) 減尺操業並びに減尺レベル

吹き卸し時に炉内を空炉とすべく減尺する方式は、改修費用の節減と工期短縮のため、最近では多くの高炉で

実施されている<sup>4)~6)</sup>。神戸第2高炉の場合、シャフト下部以下に SiC れんがを使用しており、減尺操業中の注水によるスポーリングと酸化を極力防止するため、減尺レベルを SiC れんが直上とした。また、鉍石を含む装入物を炉内に残すと、軟化融着物が生成して改修時の炉内内容物の掻き出しを困難にするので、炉内内容物を中塊コークス（粒度幅：15~20 mm）に置換しつつ減尺することにした。

(2) 冷却方法

注水冷却方法は、高炉の短期改修には有効な手段であるが、注水によるれんがのスポーリングと酸化が発生すること、更には、注水後の排水処理コストが高いことから一時休止高炉には適当な方法ではない。そこで、第2高炉では、欧米の高炉がバンキング時に炉頂部を正圧に保つため N<sub>2</sub> ガスを封入する例や N<sub>2</sub> ガスを使用し冷却した解体調査を参考とし<sup>9)10)</sup>、N<sub>2</sub> ガスを用いた高炉の冷却方法を採用した。

この方法は、N<sub>2</sub> ガスを炉頂ベルレス 装入装置減速機部から注入し羽口部を経て系外に放散するもので、羽口部から不活性ガスを吹き込む場合に懸念される高温出口ガスの熱によるベルレス装置の損傷を防止しつつ、冷却中の H<sub>2</sub>O による耐火物の酸化損傷の防止と徐冷によるスポーリング現象の回避に効果がある。

(3) 炉底出鉄

神戸第2高炉の炉底部は、オールカーボンれんが積みであり、約2年2カ月間の稼働では、れんが侵食量は Fig. 2 に示すごとく少ないと推定しており、十分再利用が可能であると判断した。一方、サラマンダーの処理については、発破等による除去で十分対応できるため、今回の高炉休止に際しては、炉底出鉄は実施せず、サラマンダーは再稼働前に処理することとした。

(4) 保存方法

アルカリ成分を含有したカーボンれんがや SiC れんがは、H<sub>2</sub>O や CO<sub>2</sub> と反応し脆化破壊することが報告されている<sup>2)3)</sup>。そこで保存中に大気中の湿分や CO<sub>2</sub> と

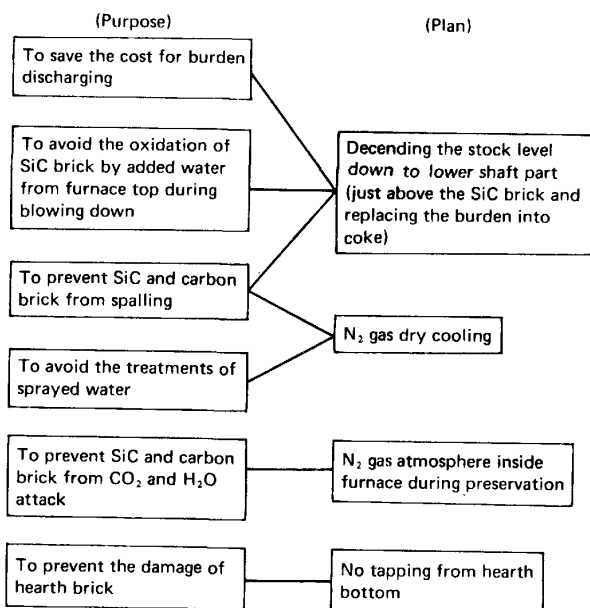


Fig. 1. Basic plan of cooling and preservation of No. 2 BF.

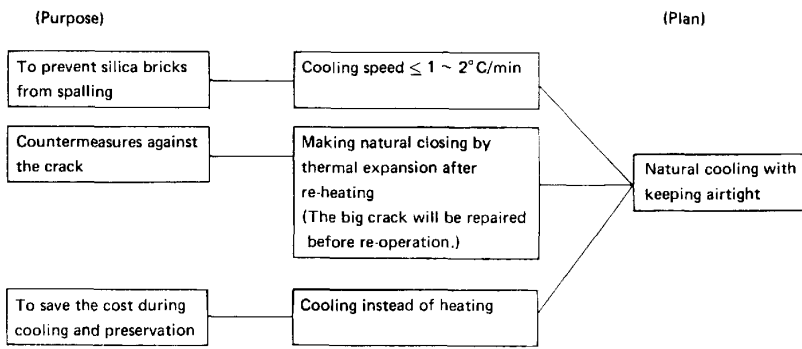


Fig. 3. Basic plan of cooling and preservation of No. 2 BF's hot stoves.

これらレンガが直接触れないように、保存中高炉内を N<sub>2</sub> ドライガス雰囲気とすることとした。なお、高炉への N<sub>2</sub> 供給は、冷却時に用いたラインを流用することとした。

2.2 熱風炉

神戸第2高炉用熱風炉は、カウパー式（3基）であり、ドーム部及び蓄熱室上部は珪石レンガ積みである。

Fig. 3 に熱風炉の冷却保存の考え方を示す。冷却保存方法の決定には、

- (イ) 冷却・再使用時のスポーリング防止
- (ロ) 冷却・再使用時のクラック対策
- (ハ) 冷却・保存中の経費節減

を主眼とした。珪石レンガが使用熱風炉は、冷却時の変態に伴うクラックを防止するため、短期間の保存には珪石レンガの変態温度以上に保つため間欠的に燃焼する保熱

方式がとられるが、今回の保存が長期間であり、この期間の経費節減のため冷却を実施することにした。冷却方式の選択には、主として当社加古川製鉄所で実施した熱

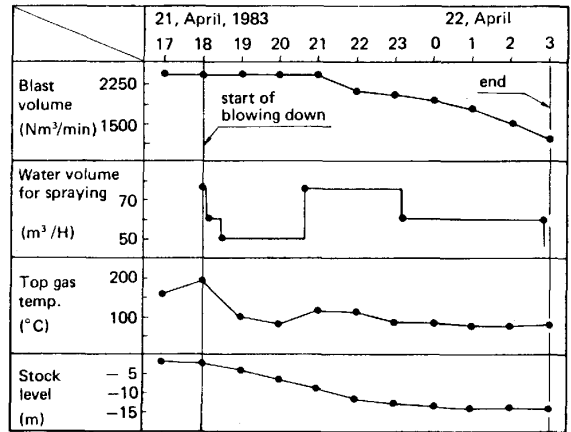


Fig. 5. Blowing down practice.

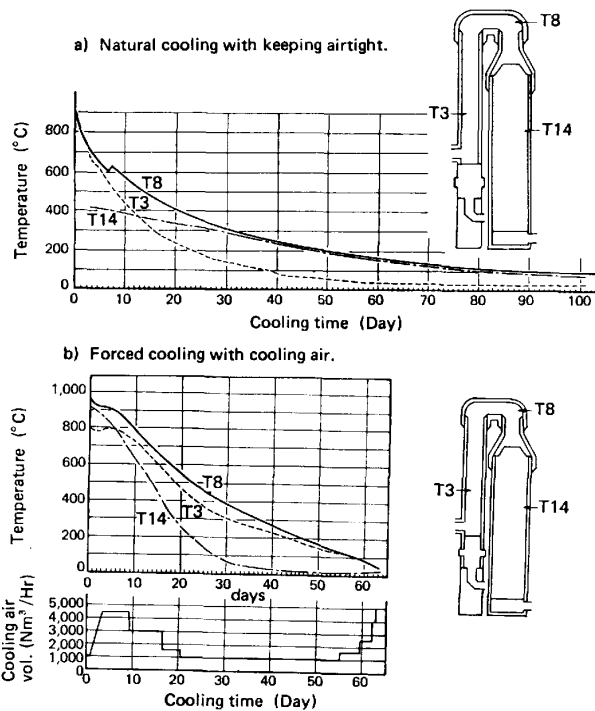


Fig. 4. Cooling curves of hot stoves cooling test at Kakogawa.

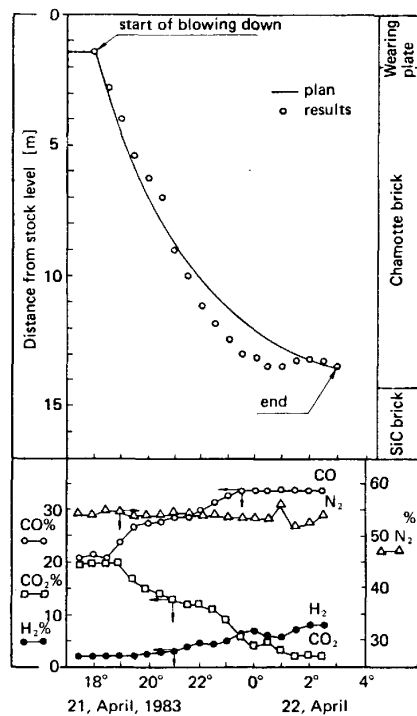


Fig. 6. Trend of stock level and furnace gas composition during blowing down.

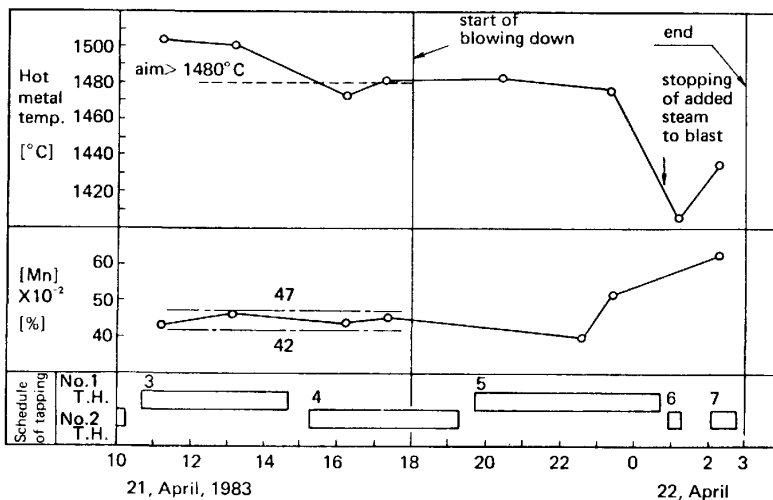


Fig. 7. Trend of hotmetal temp. and Mn content in hot metal during blowing down.

風炉冷却・再加熱結果を参考とした<sup>11)~14)</sup>。

加古川製鉄所では、3基の熱風炉を各々異なる方式、すなわち密閉自然冷却、徐冷却、強制冷却で冷却した。Fig. 4 に代表例として、a) 密閉自然冷却、b) 強制冷却の冷却曲線を示した。a), b) の冷却日数は、各々、100日、64日であった。その後、強制冷却した熱風炉を再加熱・再冷却を実施し、れんが損傷状態を調査した。これらより下記事項が明確となった。

(イ) 60~100日間の冷却では、れんが損傷状態に差が認められない。燃焼室・コーン部の珪石れんがにクラックが発生していたが、比較的軽微なものであり、再使用の障害とはならない。

(ロ) 再加熱・再冷却しても、れんがクラックの進行は見られない。

これらは、いずれの冷却方式でも冷却速度がスポーリング発生速度より十分小さいこと、また、発生クラックは部分補修で対処可能なことを示しており、これらを考慮し、今回、最もコスト的に有利な、密閉自然冷却方式を採用することとした。

### 3. 高炉の冷却保存操業

#### 3.1 減尺吹き止め操業

1983年4月21日18時から減尺吹き止め操業を開始した。Fig. 5 に減尺吹き止め操業推移を示す。減尺開始直前の炉内内容物のレベル低下に対して、徐々に減尺しつつ中塊コークスを装入し、炉内内容物を中塊コークスと置換した。炉頂ガス温度は、炉口部に新設した6個の散水ノズルからの注水で制御し、操業中100°C前後に保持できた。減尺吹き止め操業は、計画どおりの約9時間で完了した。Fig. 6 は、減尺レベルと高炉ガス成分の推移を示したものである。装入物の降下は、22日0時30分頃から鈍化している。これは鉱石中のO<sub>2</sub>に

よるコークスの消費(直接還元)がほとんどなくなつたためこの時点で鉱石層の還元がほぼ完了したものと推定される。また、炉内内容物の溶解を確認するため、減尺開始直前の最後の鉱石層に多量のマンガン鉱石を装入した。Fig. 7 に鉄中の[Mn%]の推移を示す。減尺操業前で0.47%以下で推移していた[Mn%]が、21日23時頃から上昇しはじめ、最終チャージの溶解を示唆している。

炉内に溶銑・溶滓を極力残さないため、溶銑温度を減尺操業前で1480°C以上を確保するように操業した。

#### 3.2 冷却保存操業

Fig. 8 は、神戸第2高炉に採用したN<sub>2</sub>ガスを用いた冷却方法のフロー図である。

本方法では、N<sub>2</sub>ガスを炉頂ベルレス減速機部冷却用N<sub>2</sub>配管(既設)より吹き込み、れんが及び装入物を冷却しつつ、羽口を経て環状管に導き、熱風本管に取付けた排気筒から系外に放散するものである。

炉内装入物の冷却状況を監視するため、吹き止め後、炉下部(8本)、羽口部(4本)、出滓口部(1本、以上炉内突き出し長さ300mm)、出銑口部(2本、炉内突き

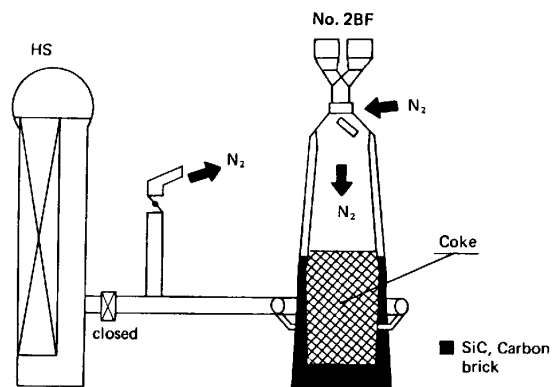


Fig. 8. Furnace cooling diagram by N<sub>2</sub>.

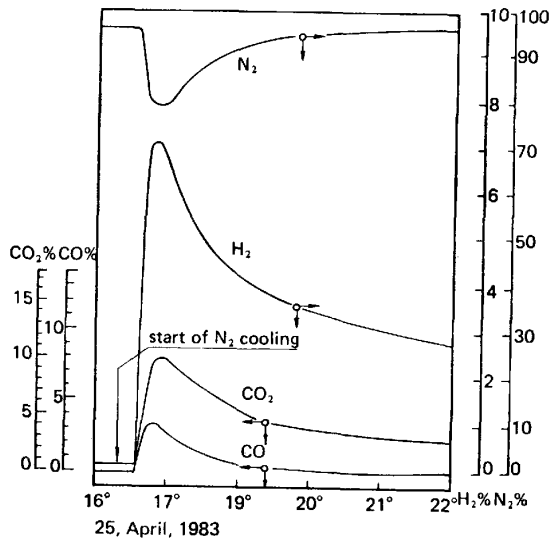


Fig. 9. Trend of furnace gas composition after N<sub>2</sub> cooling.

出し長さ 1500 mm), の合計 15 本の 温度計を 設置した。また, 冷却開始直後のガス爆発の回避と炉内の N<sub>2</sub> ガス置換状況とを確認するため排気筒部からガスを採取し, 連続的にガスクロ分析計で分析した。

Fig. 9 に高炉冷却開始後の炉内ガス組成の推移を示す。冷却開始後, 数十分で CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>% が上昇したが, その後, 緩やかに低下し, 約半日で炉内が N<sub>2</sub> で置換されたことを確認した。

Fig. 10 に出鉄口部, 羽口部, シャフト下部の代表的な温度の推移を示す。最初炉内は比較的高温であり, スポーリングを考慮し N<sub>2</sub> 吹き込み量を 1000 Nm<sup>3</sup>/h に設定し冷却を開始した。出鉄口部は, 1200°C であつたが, 冷却開始から 12 日間で羽口部の温度と等しくなり, 約 1 カ月で全体が 100°C となつた。

Fig. 11 に代表的な炉底れんが温度の推移を示す。60~150°C の温度が, 装入物内温度と同様, 徐々に低下し約 40 日で 30°C となつた。

炉内の冷却は, これらから判断し約 1 カ月強で完了したと思われる。その後, 炉内をプラス数十 mmH<sub>2</sub>O の N<sub>2</sub> 雰囲気保ちながら高炉の保存操業に切り替えた。

### 3.3 炉下部れんがの損傷状態

神戸第2高炉吹き止め直後と吹き止めてから 8 カ月経過した時点で炉下部から炉体れんがのサンプリングを実施しその損傷状態を調査した。火入れ当初の炉下部れんがが積は, 炉内側シャモットれんが, 鉄皮側 SiC れんがの二層張りで, 炉壁れんが厚さは 550 mm である。

Table 2 に各々採取したれんがの観察結果を示す。吹き止め直後に採取したシャフト下部, 炉腹上部の状態はほぼ同様であつた。Fig. 12 に SiC れんがのアルカリ分布を示す。これらより以下のことが明確となつた。

(イ) 残存 SiC れんがは, 約 250~270 mm で稼働面から約 80 mm の所でクラックが発生していた。

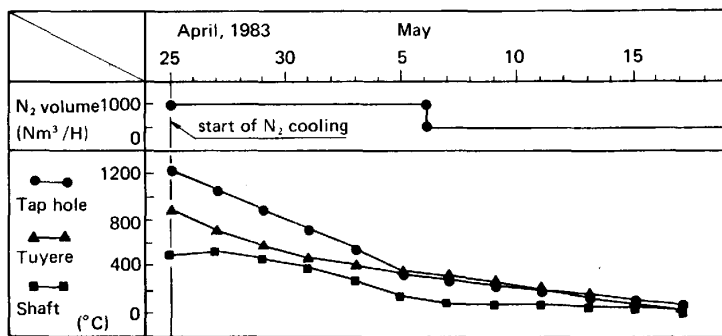


Fig. 10. Trend of furnace temperature during N<sub>2</sub> cooling.

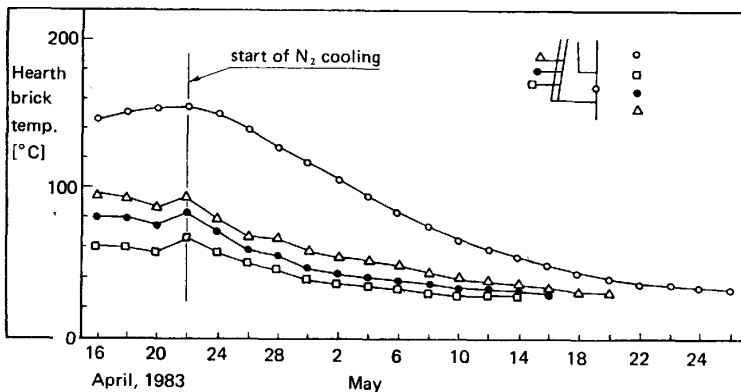


Fig. 11. Trend of furnace brick temperature at hearth parts during N<sub>2</sub> cooling.

Table 2. Observation of SiC brick samples.

	Samples A. (just after blowing down)		Samples B. (8 months after blowing down)	
	Residual brick length (mm)	Appearance observation	Residual brick length (mm)	Appearance observation
Lower shaft part	a) 250 (350**+200*)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Disappearance of chamotte brick and about 80<sup>mm</sup> wear of SiC brick</li> <li>○ Original quality of SiC brick except 5~10<sup>mm</sup> from working face</li> <li>○ Crack at 80<sup>mm</sup> from working face in SiC</li> </ul>	c) 270 (250**+300*)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ About 230<sup>mm</sup> wear of chamotte brick and original length of SiC brick</li> <li>○ Original quality of SiC brick</li> <li>○ Crack at 60<sup>mm</sup> of SiC brick</li> </ul>
Upper belly part	b) 250 (250**+300*)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Disappearance of the chamotte brick and original length of SiC brick</li> <li>○ Original quality of SiC brick except 5~10<sup>mm</sup> from working face</li> <li>○ Crack at 80<sup>mm</sup> from working face in SiC</li> </ul>	Note; * chamotte brick (original length) ** SiC brick (original length)	

(ロ) SiC れんがは、稼働面から約 5~10 mm の所まで変質していたが、それ以外は健全な状態であつた。

(ハ) SiC れんがのアルカリ含有量は、稼働面から 10 mm 程度の所まで増加していた。

また、吹き止めから 8 カ月経過した後のシャフト下部の SiC れんが損傷状態は、

(イ) 残存れんが厚は、270 mm (SiC れんが: 250 mm) で稼働面から 80 mm の所でクラックがはいっていた。

(ロ) SiC れんがのアルカリ含有量分布は、吹き止め時のれんがと同様であつた。

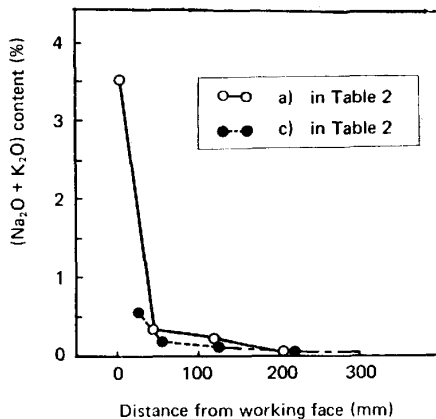


Fig. 12. Alkali content in SiC brick of No. 2BF.

これらから、一時休止の高炉内を N<sub>2</sub> ドライガス雰囲気とし保存することはれんがの経時的な脆化防止に有効であることがわかつた。

#### 4. 熱風炉の冷却保存操業

##### 4.1 冷却操業

熱風炉の各弁は、盲板取付けや目塗り等の処置を行い、密閉自然冷却を行つた。3 基の熱風炉は、ほぼ同様の冷却曲線で、計画どおり約 3 カ月強で冷却を完了した。

Fig. 13 に熱風炉の冷却曲線の一例を示す。珪石れんがの変態が発生する 550°C 前後での冷却速度は約 50 °C/日でこれは 既述の加古川製鉄所における密閉自然冷却時の実績<sup>(11)(14)</sup>とほぼ同様であつた。

##### 4.2 熱風炉れんがの損傷状態

冷却完了後、各熱風炉のドーム部マンホールを開け内部のれんが損傷状態を調査した。

Photo. 1, 2 に熱風炉のドーム部と燃焼室上端部の耐火物状況の一例を示す。いずれの熱風炉でも、ドーム部れんがの脱落やチェッカーれんがの損傷は全く見られなかつた。3 炉に共通の現象としては、

(イ) ドーム側壁部に最大 20 mm 幅程度のクラック (Photo. 1) が、円周方向で発生している。

(ロ) 側壁れんが上端部に数 mm 厚のダスト堆積が

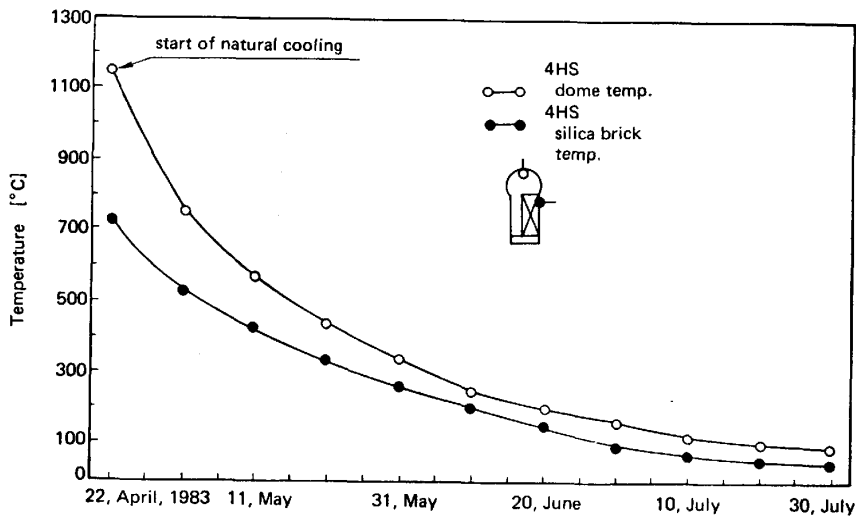


Fig. 13. Cooling curve of No. 4 hot stove.

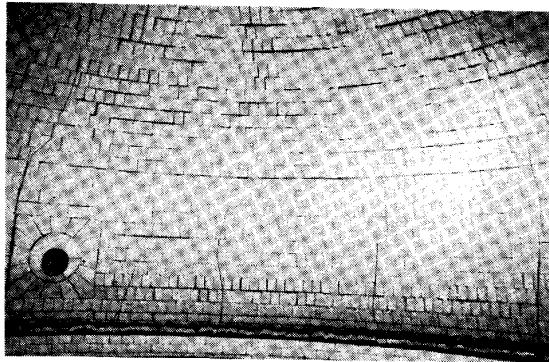


Photo. 1. Appearance of No. 5 HS dome part.

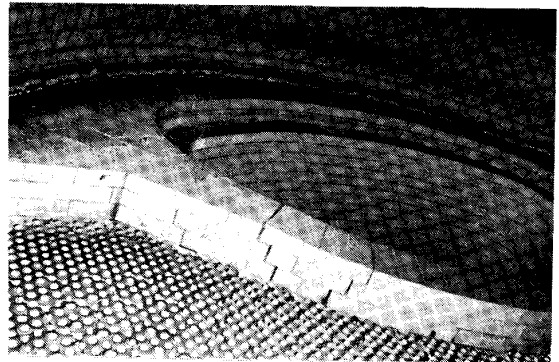


Photo. 2. Appearance of No. 5 HS upper part of combustion chamber.

ある。

(ハ) 燃焼室内巻れんがの目地部（最大 30 mm 幅）が開いている。

(ニ) ドーム部のれんがに異常な垂れ下がりはない。であり、特に再使用に問題はないと考えられる。しかし、再加熱に際しては、クラック部に小片等が残存すると新たなクラック発生源となるので、再使用時にクラック部の入念な清掃等が不可欠であると考えている。

### 5. 設備保全

各設備の保全については、

(イ) 休止期間中に間欠運転する設備

(ロ) 休止期間中に運転しない設備

に大きく分類した。

Table 3 に神戸第2高炉の主要設備の保存方法を示す。炉頂装入装置、スキップカー等については月1回の間欠運転で、また運転しない設備に対しては、

(a) 各種減速機やベアリング……防錆剤塗布

(b) 水配管……N<sub>2</sub> 封入（冷却盤、羽口とは分離した。）

Table 3. Preservation procedure of No. 2 BF.

Equipment	Main items	Procedure
Furnace body	SiC and carbon brick	N <sub>2</sub> gas atmosphere (inside)
Equipment to be operated intermittently	Top charging equipment Skip hoist Mud gun Top and cast house crane	Once a month
	Gear reducers	Spreading rust inhibitor
Equipment to be not operated	Bearings and valves	
	Water piping	N <sub>2</sub> gas atmosphere
	Control board	Using gasified rust inhibitor

## (c) 制御盤……気化性防錆剤

等の方法で保存を図っている。

## 6. 結 言

神戸第2高炉は、約2年2カ月の稼働の後、再稼働を前提とし吹き止め、 $N_2$  ガスで冷却し保存中である。

今回の方法は、

(1) SiC れんがを保護するため、SiC れんが直上を減尺レベルとし吹き止める。

(2) 注水によるれんがのスポーリングや酸化防止のため、 $N_2$  ガスで冷却する。

(3) 大気の侵入防止のため、炉内を  $N_2$  雰囲気で保存する。

で、ほぼ計画どおりに実施できた。

吹き止め時と8カ月経過時に SiC れんがを採取し調査した。この結果、SiC れんがに経時劣化は認められなかった。

一方、熱風炉は、密閉自然冷却方式で冷却した。冷却後、炉内を観察し、再使用に特に問題がないことを確認した。

また、他の設備の保存状態も良好である。

今後、サラマンダーの最適処理方法等を検討し、再稼働に備える考えである。

## 文 献

- 1) I. F. CARMICHAEL and J. LOURING: *Steel Times*, 209 (1981), p. 416
- 2) 日本鉄鋼協会共同研究会共同研究会: 第61回製鉄部会 (1982年10月) 川崎製鉄(株) (私信)
- 3) 斉藤三男, 新谷宏隆, 江見俊彦, 渡辺洋一, 丸島弘也, 中村敏男: *鉄と鋼*, 68 (1982), S 672
- 4) 梶川脩二, 宮本健彦: *日本鋼管技報* (1979) 81, p. 193
- 5) L. VROMAN: *Proc. Ironmaking Conf.*, 40 (1981), p. 198 [AIME]
- 6) D. A. KARCSMAR and D. A. WISE: *Proc. Ironmaking Conf.*, 40 (1981), p. 212 [AIME]
- 7) 安野元造, 丸島弘也, 一藤和夫, 渡辺洋一, 久保秀穂, 田中整司: *鉄と鋼*, 67 (1981), S 782
- 8) 芳木通泰, 横井毅, 佐藤和明, 栗田興一: *鉄と鋼*, 67 (1981), S 784
- 9) 今田邦弘, 江崎潮, 阿部幸弘, 岩月鋼治, 高崎誠, 井上展夫: *鉄と鋼*, 67 (1981), S 50
- 10) H. BONNEKAMP, K. ENGEL, W. FIX and K. GREBE: *Stahl Eisen*, 103 (1983), p. 75
- 11) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第29回耐火物部会 (1981年6月) (株)神戸製鋼所 (私信)
- 12) 斉藤隆夫, 寿原康紘, 望月顕, 下田良雄, 鈴木隆夫, 川口清彦: *鉄と鋼*, 64 (1978), S 478
- 13) 飯塚元彦, 梶川脩二, 金井一男, 中村博己: *鉄と鋼*, 65 (1979), S 546
- 14) 西田功, 上仲俊行, 太田芳男, 大島隆三, 大平英毅, 田村節夫: *鉄と鋼*, 67 (1981), S 28